



Rev Mex Med Forense, 2025, 10(2):99-110

ISSN: 2448-8011

El ojo como evidencia: El humor vítreo en la estimación de intervalo postmortem (IPM)

Artículo de Revisión

The eye as evidence: Vitreous humor in the estimation of postmortem interval (MPI).

**Castro Alatorre, Daniela¹; De León Flores, Sergio Gerardo²; Matus Bergés, Said³;
Alcalá Sánchez, Diana Guadalupe⁴**

Recibido: 10 abril 2025; Aceptado: 6 mayo 2025; Publicado: 15 julio 2025.

1. Facultad de Medicina, Universidad Anáhuac México Sur.
2. R1 Oftalmología, Hospital Regional de Alta Especialidad “Dr. Ignacio Morones Prieto”, IMSS Bienestar, San Luis Potosí.
3. Facultad de Medicina, Universidad La Salle, México.
4. Universidad Autónoma de Aguascalientes, México.

Corresponding author: Castro Alatorre Daniela; danielacastro128@gmail.com,

**Revista Mexicana de Medicina Forense y Ciencias de la Salud.
Editorial Universidad Veracruzana
Periodo julio-diciembre 2025**

RESUMEN

El intervalo postmortem (IPM) es una medida de tiempo que busca evaluar el momento preciso de muerte hasta el primer acercamiento con el cuerpo, un intervalo crucial para la medicina forense para poder determinar las posibles causas de fallecimiento. Entre diversos fluidos que se examinan para su estudio, el humor vítreo se ha destacado debido a su estabilidad y su resistencia a la contaminación en comparación con otros fluidos. El presente artículo revisa la importancia del humor vítreo en la estimación del IPM, los biomarcadores como el potasio así como los cambios oculares postmortem que se observan y que pueden servir como auxiliares clave para este fin. A través de una búsqueda bibliográfica en bases de datos como Scopus, Pubmed y UpToDate, se incluyeron estudios relevantes por lo que se revisaron e incluyeron 31 artículos que se correlacionaban con el humor vítreo y el IPM. En general, biomarcadores como el potasio y otros electrolitos son utilizados frecuentemente en el tiempo postmortem ya que muestran cambios específicos que pueden ayudar a esta estimación, sin embargo se exploran otros métodos forenses, como la tomografía de coherencia óptica (OCT), y fenómenos oculares postmortem, como la opacidad corneal, que ofrecen información complementaria. Este artículo se enfoca en la importancia del humor vítreo como herramienta confiable y accesible a la estimación del IPM aunque se necesitarían más estudios para poder validar los biomarcadores involucrados.

Palabras clave: intervalo postmortem, humor vítreo, medicina forense.

ABSTRACT

The postmortem interval (PMI) is a time measurement used to determine the precise moment of death until the first examination of the body, an essential aspect in forensic medicine for identifying possible causes of death. Among the various bodily fluids analyzed, vitreous humor stands out due to its stability and resistance to contamination compared to others. This article reviews the significance of vitreous humor in PMI estimation, focusing on biomarkers like potassium as well as postmortem ocular changes that can serve as useful indicators. A literature research was performed using databases such as Scopus, PubMed, and UpToDate, resulting in the inclusion of 31 relevant articles related to vitreous humor and PMI. Potassium and other electrolytes are commonly used as postmortem biomarkers due to their specific changes over time that helps with this estimation, however, other forensic methods, such as optical coherence tomography (OCT), and ocular phenomena, like corneal opacity, are explored for their complementary value. This article highlights the value of vitreous humor as a reliable and accessible tool for PMI estimation, though further research is needed to validate the involved biomarkers.

Keywords: postmortem interval, vitreous humor, forensic medicine.

INTRODUCCIÓN

El intervalo postmortem (IPM) es el tiempo que transcurre desde la muerte del paciente hasta el primer acercamiento con el cuerpo evaluado por un profesional. Es de gran importancia, especialmente en el ámbito de la medicina legal, debido a que forma parte fundamental en la determinación de la hora exacta de muerte en investigaciones criminalísticas forenses. En este primer examen se realizan mediciones físicas, químicas e incluso de imagen para poder dar un diagnóstico postmortem certero. Generalmente los fluidos corporales utilizados en estas pruebas son la sangre, el líquido cefalorraquídeo (LCR) y el humor vítreo. (1) Éste último siendo de importancia para este artículo de revisión ya que ha sido estudiado ampliamente debido a que se ha visto que es menos susceptible a la contaminación y a su degradación comparado con otros fluidos corporales.

Por lo que con este artículo se busca estudiar la importancia del humor vítreo en la medicina forense, así como los cambios oculares que ocurren al fallecimiento del paciente, para poder establecer de forma precisa el IPM.

DESARROLLO

Se realizó una búsqueda bibliográfica vía internet en las bases de datos de Scopus, PubMed y UpToDate, utilizando palabras clave como postmortem interval, vitreous humor, forensic medicine, así como libros de Oftalmología general. Se buscó incluir artículos recientes de los últimos 5 años en español e inglés, sin embargo debido a las limitaciones de artículos publicados previos se incluyeron de años más antiguos. Se seleccionaron estudios originales, de revisión y meta-análisis donde se abordara el IPM en relación a cambios oculares, especialmente el humor vítreo, además de la selección con base en la relevancia para la práctica forense y el presente artículo.

Bases fisiológicas del humor vítreo

El humor vítreo es una sustancia viscoelástica y transparente que se encuentra en los ojos, que es capaz de ejercer fuerza sobre éste y ocupar el espacio entre el cristalino y la retina, un espacio que va desde la corteza vítreo anterior hasta la corteza vítreo exterior. Pesa aproximadamente 4 gramos, con un volumen de 4 mililitros, sin embargo esto puede variar de acuerdo a la edad y tamaño del ojo. A pesar que está constituido en su mayor parte por agua, el colágeno, principalmente el tipo II, así como el ácido hialurónico, le ayuda a mantener esta consistencia gelatinosa. Su función radica principalmente en mantener la estructura del ojo dentro de la cavidad ocular, para dar soporte a la retina, así como para permitir que la luz pueda llegar a la retina y crear imágenes nítidas. (1,2)

Métodos de estimación del intervalo postmortem (IPM) con el humor vítreo

El humor vítreo es una sustancia corporal que presenta ventajas debido a la accesibilidad, la facilidad en su manejo, con menos cambios químicos en comparación con otros fluidos como lo son la sangre y el LCR. Además presenta menos cambios producidos por influencias ambientales, factor importante a considerar en la estimación del fallecimiento de un paciente. ⁽⁴⁾

Los niveles de electrolitos en el humor vítreo, como cualquier otro fluido, cambian posterior al fallecimiento de una persona, y estos factores dependen esencialmente del IPM, el almacenamiento del cuerpo así como la toma de muestras para su investigación forense. Estos cambios son consecuencia de un fenómeno llamado hipoxia celular, que aumenta la permeabilidad de las membranas celulares y vasos sanguíneos, que conlleva a la reducción de adenosín trifosfato (ATP) en las células, impidiendo que las bombas de transporte activo y pasivo mantengan los gradientes fisiológicos de los electrolitos en las membranas celulares, como resultado estos fluidos intra y extracelulares se fusionarán, lo que provocará que haya cambios significativos postmortem en el humor vítreo. ⁽⁵⁾

Para poder tomar una buena muestra de humor vítreo postmortem se realizan varias pruebas, una de ellas es la aspiración con aguja desde el canto externo del ojo a analizar, introduciéndola en el centro del globo ocular para evitar la aspiración de material que esté cerca de la retina y evitar la contaminación entre estas dos estructuras, ya que tienen composiciones químicas distintas. ^(1,18)

La estimación química más estudiada en el humor vítreo como IPM es el potasio (K^+), sin embargo, se han analizado otros biomarcadores como lo es el sodio, calcio, cloro, magnesio, hipoxantina, ácido úrico, creatinina, glucosa, entre otros. ⁽¹⁾

Los primeros artículos relacionando el potasio con el IPM fue el estudio de Sturmer, et ál. ⁽⁹⁾ donde se propuso un modelo de regresión lineal para la estimación de éste, con la fórmula $IPM = 7.14 \times (K^+) - 39.1$, con un margen de error de 4.7 horas que no parecía aumentar con IPM más prolongado. En otro estudio, Coe, et ál. ⁽¹⁰⁾ comparó 160 casos en los que los valores de electrolitos y nitrógeno uréico no tenían alteraciones antemortem, sin embargo, el potasio vítreo parecía tener un aumento lineal con un IPM creciente, encontrando que este aumento era más rápido en las primeras horas. ⁽¹¹⁾ Mihailovic, et ál. ⁽⁵⁾ demostró una fuerte correlación entre estos valores creando otra fórmula que evalúa el potasio medio, siendo ésta $IPM \text{ (horas)} = 2.749 \times (K^+) - 11.978$. Bastos-Vieira, et ál. ⁽⁶⁾ nos menciona en su meta-análisis que el nivel de potasio sí muestra una correlación importante con el IPM, pero que esta correlación es más evidente en el líquido sinovial más que en el humor vítreo; además menciona que la medición de potasio de forma aislada puede generar errores significativos, pero que si se combina con otros biomarcadores, como hipoxantina y albúmina, podría haber una mejoría en la determinación del IPM con más exactitud.

Sin embargo, a pesar de todas estas estimaciones y fórmulas, aún no existe un estándar con el que se pueda corroborar cada una de ellas, lo que hace difícil la estimación del IPM debido a factores independientes.

Otros biomarcadores, como sodio, cloro, magnesio, no son tan certeros para predecir el IPM como lo es el potasio debido a su variabilidad postmortem, sin embargo pueden ayudar a detectar desequilibrios hidroelectrolíticos antemortem que puede ayudar al diagnóstico de causa de muerte del paciente, como en situaciones de ahogamiento, intoxicaciones, entre otras. ⁽¹¹⁾

Hablando de otros biomarcadores, tenemos la hipoxantina que se forma durante la descomposición del adenosín monofosfato (AMP), haciéndolo un marcador útil para detectar hipoxia postmortem. Generalmente se puede observar el aumento de sus niveles en el humor vítreo en decesos por depresión respiratoria que podrían ayudar a la detección y una mejor estimación del IPM. Sin embargo, esta correlación está sujeta a factores como la temperatura cerebral, rectal y ambiental, teniendo un intervalo de confianza variable que es entre 1.5 y 7 horas. ^(8,11) Por otro lado, el amonio en el humor vítreo nos puede ayudar a observar un aumento lineal de su concentración en casos de IPM de 20 horas a ≥ 250 horas, sin embargo mantiene las mismas limitaciones debido a factores externos. ⁽¹¹⁾

Otros marcadores, como la glucosa y el lactato, que ocupan un papel primordial en el metabolismo de los seres vivos, han sido estudiados en el humor vítreo y se observa que la glucosa no presenta cambios significativos en IPM cortos, sin embargo en las primeras 6 horas postmortem a temperatura ambiente la glucólisis causa una disminución del 35-70% en las concentraciones de glucosa y pasado ese tiempo sus valores se mantienen relativamente estables durante varios días. El lactato, por su parte, aumenta 20 veces en la primera hora postmortem, y hasta 50-70 veces una vez pasadas las 24 horas en sangre, sin embargo en el humor vítreo se observó que se difunde desde la retina por una pérdida de la permeabilidad de la barrera hemato-retiniana, por lo que aumenta de forma lineal y lentamente debido al estado de anaerobios. ^(11,17)

En relación al estudio de los cuerpos cetónicos en el IPM, algunos estudios mencionan que sus valores no aumentan significativamente y pueden incluso disminuir por degradación espontánea, generalmente el β -hidroxibutirato (β Hb), sin embargo es útil para diagnosticar cetoacidosis diabética o alcohólica postmortem. ^(12,13,17)

Se ha observado que ciertos aminoácidos aumentan con el IPM, posiblemente debido a la degradación de proteínas, el fallo en los mecanismos de transporte y la ruptura de la barrera hematovítreo. Patrick et ál. (14) encontraron que la mayoría de los aminoácidos en el humor vítreo muestran una relación logarítmica lineal con el IPM. Girela et ál. (15) confirmaron un aumento estadísticamente significativo de taurina, glutamato y especialmente aspartato hasta 50 horas postmortem. Ansari et ál. (16) establecieron que la concentración de cistina en humor vítreo aumenta de manera lineal con el IPM hasta aproximadamente 96 horas. También se encontró una correlación significativa entre el triptófano en el humor vítreo y el IPM con una ecuación de regresión $[Trp] = 2.21 + 2.98 \times IPM$, lo que sugiere su utilidad en la estimación del IPM en casos forenses.

En biomarcadores como creatina, creatinina y urea en humor vítreo, se ha observado que éstos aumentan linealmente con el IPM, sin embargo no hay evidencia significativa que pueda sustentar lo anterior debido a condiciones o enfermedades del paciente que podrían aumentar estos valores antemortem, por lo cual limita su utilidad. (11)

La determinación de insulina en sangre postmortem es compleja, sin embargo, resulta prometedora en el humor vítreo debido a cambios postmortem menos pronunciados y la ausencia de hemoglobina. En varios estudios realizados en poblaciones sin historial de diabetes o en personas con diabetes mellitus tipo 1 donde la causa de la muerte no estaba relacionada con una sobredosis de insulina, la insulina fue indetectable o apareció en concentraciones cercanas al límite de detección, sin embargo no se estableció como un posible marcador para determinar el IPM pero ha podido ser útil en investigaciones postmortem de intoxicación por insulina. (18)

Comparación con otros fenómenos oculares postmortem

Hay diversos métodos hoy en día para estimar el IPM, como lo son los basados en temperatura, los fenómenos de supravitalidad (cambios oculares, excitabilidad mecánica, excitabilidad eléctrica), cambios musculares y tisulares (rigidez cadavérica, hipostasis), estudio de contenido gástrico, así como métodos tanatoquímicos. (19)

Cambios en córnea

La córnea es fisiológicamente un medio transparente, pero al fallecer se ha observado que puede mantener su transparencia entre 8-12 horas postmortem aproximadamente con el desarrollo de su opacidad entre 8-36 horas. Las opacidades corneales se desarrollan debido a una reducción del epitelio corneal y la hidratación corneal. Sin embargo la variabilidad de estos cambios radica tanto en el IPM como en la temperatura ambiental, lo cual lo hace un parámetro difícil a la hora de estimar el tiempo de muerte. (20,21,22,26)

El grosor corneal central se puede medir con una tomografía de coherencia óptica (OCT), y en estudios en animales se ha observado que este grosor disminuye inmediatamente después de la muerte y luego aumentó, alcanzando su punto máximo a las 6 y 24 horas. En estudios con humanos se observa que el grosor está influenciado si el ojo se deja abierto entre mediciones: si se deja abierto hay una rápida reducción en el grosor en el IPM debido a la evaporación de la película lagrimal, pero si está cerrado, este parámetro aumenta progresivamente debido a la acumulación de líquido en la cámara anterior. Observándose que las córneas más finas fueron más sensibles a los cambios postmortem. ^(30,31)

El iris es la zona coloreada entre la córnea y el cristalino, y se ha descrito que el color del iris tiende a variar con IPM, dentro de las 48 horas postmortem los ojos azules se tornan marrones/negros. ^(20,24)

En relación al diámetro pupilar, que es controlado por el iris, experimenta varios cambios después de la muerte, como lo es en el reflejo a la luz que no puede ser estimulado, por lo que las pupilas están medianamente dilatadas, sin embargo, el iris aún puede responder a los estímulos químicos mióticos o midriáticos por fármacos colinérgicos o adrenérgicos. A pesar de esto se han hecho diversos estudios para corroborar esta teoría sin encontrar resultados estadísticamente significativos.

La retina, al igual que los demás componentes del ojo, experimenta cambios significativos que se relacionan con el IPM, especialmente en los vasos retinianos que muestran segmentaciones transversales y que inician a los 10-15 minutos postmortem y puede durar hasta 3 horas, después de este tiempo ya no se puede influir en la estructura de estas segmentaciones. Sin embargo se necesitan más estudios actuales sobre este parámetro ya que solo ha sido estudiado a través de oftalmoscopia hace varias décadas.

La presión intraocular (PIO) normal se determina por la presencia de humor acuoso, que varía con una presión entre 10-20 mmHg. Se ha observado que la PIO disminuye gradualmente después de la muerte y debe estimarse antes de las 60 horas postmortem debido a que el ojo baja su presión y pierde su consistencia. ⁽²³⁾ Acorde al estudio de Balci, et al ⁽²⁵⁾, si la PIO ≥ 25 mmHg, es probable que hayan pasado 30 minutos de IPM; si la PIO 20-25 mmHg, es probablemente hayan transcurrido 30 minutos a 2 horas de IPM; si la PIO 15-20 mmHg, el IPM es de 2 a 4 horas antes; si la PIO 10-15 mmHg, el IPM fue 4 a 6 horas anteriores; si la PIO se encuentra 5-10 mmHg, el deceso fue de 6 a 8 horas anteriores; y si la PIO es <5 el IPM ocurrió hace más de 8 horas. Todas estas estimaciones con una probabilidad del 95%.

El cristalino tiene una función dinámica: permite al sujeto enfocar continuamente la imagen en la retina. (26) Prieto-Bonete et al. (27) en su estudio con ojos de conejos pudo observar una reducción tanto en la absorción como en la esfericidad y una descomposición gradual de la estructura y organización de los componentes en relación con el IPM siempre que fuera dentro de un periodo de 24-96 horas, sin embargo habría que relacionar estos resultados en estudios con humanos.

La tomografía de coherencia óptica (OCT) como avance tecnológico en el intervalo postmortem (IPM)

A pesar de que la tomografía de coherencia óptica (OCT) ha tenido un gran éxito en oftalmología, su uso en ciencias forenses sigue siendo limitado, tanto en la práctica como en la investigación. La OCT contiene características que son innovadoras y de más fácil muestreo como lo es su capacidad de no ser invasivo, de obtener imágenes en tres dimensiones y resolución microscópica, ventajas que pueden ser aprovechadas en diversas áreas para su aplicación como el estudio de alteraciones oculares postmortem que ayudaría a tener una mejor estimación de los cambios y del IPM. (28)

La OCT nos permite observar la estructura tisular del ojo sin alterar su fisionomía, además de la posibilidad de obtener una imagen del espesor de la córnea así como la medición del ángulo iridocorneal que va disminuyendo a medida que aumenta el IPM. En el humor vítreo se observó un fenómeno de descamación en IPM más prolongados, por lo que podría ser un punto de partida para futuras investigaciones donde se correlacionen datos bioquímicos y morfológicos. (29)

Aunque la OCT tiene muchas ventajas técnicas e innovadoras, su uso aún es limitado, sin embargo se espera que en los próximos años esta técnica avance considerablemente en la práctica habitual de la medicina forense.

De igual forma, la metabolómica, ciencia que se encarga de estudiar los metabolitos de bajo peso molecular en fluidos y tejidos, mediante la resonancia magnética nuclear de hidrógeno-1 (RMN 1H) se ha propuesto como alternativa para la estimación IPM en el humor vítreo debido a sus características de medición. (4)

DISCUSIÓN

El intervalo postmortem (IPM) es pilar fundamental en la medicina forense, ya que es el tiempo transcurrido desde la muerte del paciente hasta que un profesional tiene contacto con él, además que este tiempo es crucial para la investigación de las posibles causas que llevaron a la muerte y poder llevar una cronología precisa en las investigaciones forenses. Hay muchas muestras y estimaciones que pueden ser tomadas en cuenta, sin embargo, en el presente estudio, se ha estudiado al humor vítreo debido a que es una herramienta prometedora para poder estimar este IPM debido a sus características bioquímicas y cambios mínimos afectados por factores externos como lo son la temperatura ambiental, temperatura corporal, la rigidez cadavérica y la hipostasis que causan distracción al momento de precisar la cronología postmortem. Entre los biomarcadores más estudiados, se encuentra el potasio, que continúa siendo el más confiable e importante para poder determinar el IPM, especialmente las primeras horas postmortem, debido a su aumento lineal en el humor vítreo y baja variabilidad a factores ambientales.

Otros biomarcadores como el sodio, lactato, hipoxantinas, glucosa, son igual de importantes para el IPM, sin embargo son más susceptibles a factores ambientales que limitan su uso en la práctica diaria de forma aislada, por lo que se necesitan más estudios en el futuro para mejorar la precisión de estas estimaciones. A pesar de los avances en el estudio del humor vítreo, el IPM sigue siendo un desafío debido a los factores internos y externos que afectan la composición de los tejidos del cuerpo, así como también depende de la experiencia profesional forense de la persona encargada de la investigación, por lo que se necesitan más estudios para poder tener estimaciones más certeras que nos lleven a un IPM preciso. En cuanto a la implementación de la tomografía de coherencia óptica (OCT) se ha demostrado que tiene potencial debido a sus características innovadoras, con alta reproducibilidad en los resultados, que la convierte en un estudio prometedor para la estimación del IPM en la medicina forense.

En conclusión, aunque el análisis del humor vítreo es un método valioso en la estimación del IPM, no se puede utilizar de forma aislada y se tienen que combinar más tejidos corporales así como otros datos bioquímicos para poder hacer una estimación más precisa del tiempo postmortem. La integración de nuevas tecnologías ofrece un panorama optimista para el futuro de la medicina forense, permitiendo una evaluación más precisa y confiable.

REFERENCIAS

1. Montefusco-Pereira, C. V., De Matos-Alves Pinto, L. (2016). El humor vítreo como fluido biológico de importancia clínica en ciencias forenses. *Acta BioquíMica ClíNica Latinoamericana/Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 50(1), 27-35. <https://www.redalyc.org/pdf/535/53546180006.pdf>
2. Charles, S., Riordan-Eva, P., Cunningham-Jr., E.T.(Eds.). (2012). Capítulo 9: Humor vítreo. Vaughan y Asbury. *Oftalmología general*, 18e. McGraw-Hill Education. <https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1495§ionid=101278786>
3. Notarstefano, V., Santoni, C., Montanari, E., Paolo Busardò, F., Montana, A., Orilisi, G., Mariani, P., & Giorgini, E. (2025). A new approach to assess post-mortem interval: A machine learning-assisted label-free ATR-FTIR analysis of human vitreous humor. *Spectrochimica acta. Part A, Molecular and biomolecular spectroscopy*, 327, 125326. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.125326>
4. Ang, J. L., Collis, S., Dhillon, B., & Cackett, P. (2021). The Eye in Forensic Medicine: A Narrative Review. *Asia-Pacific journal of ophthalmology* (Philadelphia, Pa.), 10(5), 486–494. <https://doi.org/10.1097/APO.0000000000000426>
5. Mihailovic, Z., Atanasijevic, T., Popovic, V., Milosevic, M., & Sperhake, J. (2012). Estimation of the Postmortem Interval by Analyzing Potassium in the Vitreous Humor: Could Repetitive Sampling Enhance Accuracy?. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 33(4), 400-403. <https://doi.org/10.1097/PAF.0b013e31826627d0>
6. Vieira, R. B., Vicentin-Junior, C. A., Damascena, N. P., Silva, M. C., Araujo, A. P. D., da Trindade, R. Q., Vieira, M. G. D. M., Cunha, E., Deitos, A. R., Santiago, B. M., Martins-Filho, P. R., & Machado, C. E. P. (2024). Biochemical analysis of vitreous humor and synovial fluid in the estimation of early postmortem interval: A meta-analytical approach. *Journal of forensic and legal medicine*, 108, 102782. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2024.102782>
7. Guerrero-Urbina, C., Fors, M., Del Sol, M., & Fonseca, G.M. (2021). Correlación entre Sodio, Cloro y Potasio del Cuerpo Vítreo y el Intervalo Postmortem sobre los 2.850 msnm. *International Journal of Morphology*, 39(2), 554-559. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022021000200554>
8. Rognum, T. O., Holmen, S., Musse, M. A., Dahlberg, P. S., Stray-Pedersen, A., Saugstad, O. D., & Opdal, S. H. (2016). Estimation of time since death by vitreous humor hypoxanthine, potassium, and ambient temperature. *Forensic science international*, 262, 160–165. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.03.001>

9. W. Sturmer. (1963). The vitreous humour: postmortem potassium changes, *Lancet* 281, 807–808, [http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(63\)91509-5](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(63)91509-5).
10. Coe, J.I. (1969). Postmortem Chemistries on Human Vitreous Humor. *American Journal of Clinical Pathology*, 51(6), 741–750. <https://doi.org/10.1093/ajcp/51.6.741>
11. Pigaiani, N., Bertaso, A., De Palo, E. F., Bortolotti, F., & Tagliaro, F. (2020). Vitreous humor endogenous compounds analysis for post-mortem forensic investigation. *Forensic science international*, 310, 110235. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110235>
12. Iten, P. X., & Meier, M. (2000). Beta-hydroxybutyric acid--an indicator for an alcoholic ketoacidosis as cause of death in deceased alcohol abusers. *Journal of forensic sciences*, 45(3), 624–632. <https://doi.org/10.1520/JFS14739J>
13. Kadiš, P., Balažic, J., Marolt, V.F. (1999). Alcoholic ketoacidosis: a cause of sudden death of chronic alcoholics. *Forensic Sci* 103, S53–S59, [http://doi.org/10.1016/S0379-0738\(99\)00074-2](http://doi.org/10.1016/S0379-0738(99)00074-2).
14. Patrick, W.J., Logan R.W. (1988). Free amino acid content of the vitreous humour in cot deaths. *Archives of Disease in Childhood*, 63, 660-662. <https://doi.org/10.1136/adc.63.6.660>
15. Girela, E., Villanueva, E., Irigoyen, P., Girela, V., Hernández-Cueto, C., & Peinado, J.M. (2008). Free Amino Acid Concentrations in Vitreous Humor and Cerebrospinal Fluid in Relation to the Cause of Death and Postmortem Interval. *Journal of Forensic Sciences*, 53, 730-733. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2008.00726.x>
16. Ansari, N., Lodha, A., & Menon, S. K. (2016). Smart platform for the time since death determination from vitreous humor cystine. *Biosensors & bioelectronics*, 86, 115–121. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2016.06.042>
17. Boulagnon, C., Garnotel, R., Fornes, P., & Gillery, P. (2011). Post-mortem biochemistry of vitreous humor and glucose metabolism: an update. *Clinical chemistry and laboratory medicine*, 49(8), 1265–1270. <https://doi.org/10.1515/CCLM.2011.638>
18. Bévalot, F., Cartiser, N., Bottinelli, C., Fanton, L., & Guitton, J. (2016). Vitreous humor analysis for the detection of xenobiotics in forensic toxicology: a review. *Forensic toxicology*, 34, 12–40. <https://doi.org/10.1007/s11419-015-0294-5>
19. González, R., & Hernández, J.P. (2010). Determinación de la data en el periodo precoz de la muerte. *Métodos instrumentales. Fuel and Energy Abstracts*, 36, 83–86. [https://doi.org/10.1016/S0377-4732\(10\)70050-X](https://doi.org/10.1016/S0377-4732(10)70050-X).
20. De-Giorgio, F., Grassi, S., d'Aloja, E., & Pascali, V. L. (2021). Post-mortem ocular changes and time since death: Scoping review and future perspective. *Legal medicine (Tokyo, Japan)*, 50, 101862. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2021.101862>
21. Cantürk, I., Çelik, S., Yağmur, F., Kara, S., Karabiber, F. (2017). Investigation of opacity development in the human eye for estimation of the postmortem interval. *Biocybernet. Biomed. Eng*, 37(3), 559-565. <https://doi.org/10.1016/j.bbe.2017.02.001>

22. Kawashima, W., Hatake, K., Kudo, R., Nakanishi, M., Tamaki, S., Kasuda, S., Yuui, K., & Ishitani, A. (2015). Estimating the Time after Death on the Basis of Corneal Opacity. *Journal of Forensic Research*, 6, 269. <https://doi.org/10.4172/2157-7145.1000269>
23. Gerometta, R., Larroza, G., Pimpinella, P., Genero, S. (2019). Variación de la Presión intraocular en función del tiempo: contribución a la determinación del verdadero intervalo de muerte (VIM). *Rev Mex Med Forense*, 4, 15-23. <https://www.medigraphic.com/pdfs/forense/mmf-2019/mmf191b.pdf>
24. Abraham, E., Cox, M., Quincey, D. (2008). Pig-mentation: postmortem iris color change in the eyes of Sus scrofa, *J. Forensic Sci*, 53(3), 626–631. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2008.00729.x>
25. Balci, Y., Basmak, H., Kocaturk, B. K., Sahin, A., & Ozdamar, K. (2010). The importance of measuring intraocular pressure using a tonometer in order to estimate the postmortem interval. *The American journal of forensic medicine and pathology*, 31(2), 151–155. <https://doi.org/10.1097/PAF.0b013e3181dd7933>
26. Graue-Hernández, D. Wiechers, E. (Ed.) (2015). El cristalino y sus alteraciones patológicas. *Oftalmología en la práctica de la medicina general*, 4e. McGraw-Hill Education. <https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1498§ionid=99962143>
27. Prieto-Bonete, G., Pérez-Carceles, M.D., Luna, A. (2015). Morphological and histological changes in eye lens: Possible application for estimating postmortem interval. *Legal Medicine (Tokyo)*, 17(6), 437–442, <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2015.09.002>.
28. Nioi, M., Napoli, P. E., Mayerson, S. M., Fossarello, M., & d'Aloja, E. (2019). Optical coherence tomography in forensic sciences: a review of the literature. *Forensic science, medicine, and pathology*, 15(3), 445–452. <https://doi.org/10.1007/s12024-019-00136-z>
29. Nioi, M., Napoli, P. E., Demontis, R., Locci, E., Fossarello, M., & d'Aloja, E. (2021). Postmortem Ocular Findings in the Optical Coherence Tomography Era: A Proof of Concept Study Based on Six Forensic Cases. *Diagnostics* (Basel, Switzerland), 11(3), 413. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11030413>
30. Napoli, P., Nioi, M., d'Aloja, E., Fossarello, M. (2016). Post-Mortem Corneal Thickness Measurements with a Portable Optical Coherence Tomography System: a Reliability Study. *Scientific reports*, 6, 30428. <https://doi.org/10.1038/srep30428>

31. Napoli, P. E., Nioi, M., Gabiati, L., Laurenzo, M., De-Giorgio, F., Scorcia, V., Grassi, S., d'Aloja, E., & Fossarello, M. (2020). Repeatability and reproducibility of postmortem central corneal thickness measurements using a portable optical coherence tomography system in humans: a prospective multicenter study. *Scientific reports*, 10(1), 14508. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71546-1>



**Revista Mexicana de Medicina Forense
y Ciencias de la Salud**